

油菜菌核病菌子囊孢子对茎叶的直接侵染研究

郑露, 刘友梅, 姜道宏, 李国庆, 黄俊斌*

(华中农业大学, 湖北省作物病害监测与安全控制重点实验室, 湖北 武汉, 430070)

摘要: 为了解苗期发生油菜菌核病的致病机理, 采用室内人工接种法, 研究不同温度、接种浓度、接种方法、添加外源营养物等条件下核盘菌子囊孢子对甘蓝型油菜叶片和茎秆的直接侵染特性。结果表明, 核盘菌子囊孢子在温度为 10 ~ 30℃ 之间均可萌发, 当温度为 20 ~ 25℃ 时最适宜孢子萌发和芽管生长; 在 20 ~ 25℃ 子囊孢子接种油菜无伤或刺伤叶片、茎秆发病率最高; 刺伤叶片或茎秆与无伤组织相比有利于子囊孢子侵染; 与茎秆相比, 子囊孢子更容易侵染油菜叶片; 10^6 /mL 子囊孢子液及在子囊孢子液中添加 2% 蔗糖或葡萄糖有利于子囊孢子侵染油菜; 用子囊孢子液接种油菜叶片和茎秆, 其发病率显著低于菌丝块和带菌花瓣接种。

关键词: 核盘菌; 油菜; 子囊孢子; 直接侵染

中图分类号: S565.435

文献标识码: A

文章编号: 1007-9084(2015)05-0702-05

Directly infection of ascospores from *Sclerotinia sclerotiorum* on leaf and stem of rapeseed

ZHENG Lu, LIU You-mei, JIANG Dao-hong, LI Guo-qing, HUANG Jun-bin*

(Key Lab of Plant Pathology of Hubei Province, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: *Sclerotinia stem rot* caused by *Sclerotinia sclerotiorum* is a serious disease on rapeseed worldwide. In this study, directly infection characteristics of ascospores of *S. sclerotiorum* on rapeseed leaves and stems were investigated under different temperatures, suspension concentrations, inoculation methods and supplied nutrients conditions with artificial inoculation in greenhouse. Results showed that ascospores germinated and grew rapidly between temperature of 10 – 30℃ with the optimum of 20 – 25℃. The highest disease incidences and lesion sizes were observed on unwounded or wounded leaves and stems at temperature 20 – 25℃. Wounded treatments were more suitable for ascospores infection and leaves were easier to be infected than stems by ascospore suspensions. Both conditions of 10^6 /mL ascospores and 2% sucrose (or dextrose) were the most favorable for leaf or stem infection. Compared with ascospore suspension inoculum, diseased flowers and mycelial plugs significantly increased the disease incidence.

Key words: *Sclerotinia sclerotiorum*; Rapeseed; Ascospore; Directly infection

油菜菌核病是由核盘菌 (*Sclerotinia sclerotiorum*) 引起一种重要病害, 世界各油菜产区均有分布, 严重影响油菜产业发展^[1]。油菜从苗期至收获期均发生菌核病, 油菜花期田间子囊盘大量萌发, 子囊孢子随气流、雨水等传播至油菜花瓣, 感病花瓣是油菜菌核病发生的主要传染源, 之后迅速引起油菜茎、叶组织发病; 病叶也可作为传染源造成茎部发病^[2]。近年来, 由于我国冬季气温升高, 长江中下

游地区油菜菌核病的发生规律也较往年有所不同; 加上轻简化栽培 (未清拣田间感病植株) 制度的推广, 油菜菌核病有逐年加重的趋势。2012 年在湖北省宜昌、黄冈等地苗期油菜田中发现菌核病, 推测引起油菜苗期菌核病的原因, 可能是冬季温度升高使田间菌核提前萌发形成子囊盘, 子囊孢子直接侵染油菜组织所致; 也可能是菌核直接萌发成菌丝进行侵染。核盘菌子囊孢子在田间如何直接侵染油菜

收稿日期: 2015-01-26

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201103016); 油菜创新技术体系岗位科学家专项 (nyeytx-00514)

作者简介: 郑露 (1984-), 男, 湖北大冶人, 副教授, 博士, 研究方向为植物真菌病害与分子植物病理, E-mail: luzheng@mail.hzau.edu.cn

* 通讯作者: 黄俊斌 (1963-), 男, 教授, 博士, 研究方向为植物真菌病害与分子植物病理, E-mail: junbinhuang@mail.hzau.edu.cn

叶、茎组织,至今鲜有研究报道;仅 McQuilken 等^[3]在苗期油菜田中采用子囊孢子进行人工接种,发现子囊孢子可萌发成菌丝直接侵染油菜组织。本研究拟通过在室内条件下研究不同温度、接种浓度、接种方法、添加外源营养物等条件对子囊孢子侵染油菜叶片和茎秆的影响,以期明确油菜菌核病菌子囊孢子的侵染特性,为阐明苗期菌核病的发生规律提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 菌株及油菜品种

菌核病菌菌株为 HGYW-45,分离自湖北黄冈油菜发病茎秆,由湖北省作物病害监测与安全控制重点实验室提供;甘蓝型油菜品种为湖北省主栽品种中双9号,对油菜菌核病具有一定抗性^[4]。

1.2 子囊盘诱导及子囊孢子悬浮液配置

子囊盘诱导参照 Garg 等^[5]的方法,略有修改。在 PDA 培养基上活化菌株 HGYW-45,待菌落直径长至 3~4cm 后,在菌落边缘打取直径为 5mm 的菌丝块接种于灭菌的胡萝卜培养基上,置于 20℃ 光照条件下培养 1 个月;待产生菌核后用无菌水清洗、晾干,移至 4℃ 冰箱内低温处理 2 个月。将经灭菌的河沙平铺在塑料盆中,河沙厚度约为 5cm,将低温处理的菌核撒在河沙上,再覆盖一层厚度为 2cm 的河沙,最后将塑料盆放置在室外,诱导菌核萌发产生子囊盘。采集新鲜成熟子囊盘,置于研钵内加适量无菌水轻轻研磨,三层纱布过滤后,分别配置成浓度为 $10^3/\text{mL}$ 、 $10^4/\text{mL}$ 、 $10^5/\text{mL}$ 和 $10^6/\text{mL}$ 的子囊孢子悬浮液(0.1% Tween-80)用于萌发和接种试验。

1.3 不同温度对子囊孢子萌发以及侵染油菜的影响

取 $20\mu\text{L}$ 浓度为 $10^6/\text{mL}$ 的子囊孢子悬浮液均匀涂布在 2% 水琼脂平板上,分别置 10℃、15℃、20℃、25℃、30℃ 培养箱中 12h/12h 光暗交替培养,每个温度处理重复 3 个皿;于培养 6h、12h 和 24h 后在普通光学显微镜下统计子囊孢子萌发率(%)并测量芽管长度。

用浓度为 $10^6/\text{mL}$ 子囊孢子悬浮液分别点接无伤和刺伤(用无菌解剖针轻微刺伤表皮,方法下同)的离体油菜叶片、茎秆,每点 $20\mu\text{L}$,接种后分别放置在 10、15、20、25、30℃ 培养箱中 12h/12h 光暗交替条件保湿培养,每个处理接种 5 片叶片或 5 根茎秆(下同),重复 3 次;4 d 后统计发病率(%)并测量病斑长度。

1.4 不同浓度子囊孢子液对油菜侵染的影响

用上述浓度分别为 10^3 、 10^4 、 10^5 、 $10^6/\text{mL}$ 的子囊孢子悬浮液点接无伤和刺伤的离体油菜叶片、茎秆,每点 $20\mu\text{L}$,接种后置 20℃、12h/12h 光暗交替的培养箱中保湿培养,每个处理重复 3 次;4d 后统计发病率(%)并测量病斑长度。

1.5 不同营养添加物对子囊孢子侵染油菜的影响

分别用含 2% 蔗糖、2% 葡萄糖以及添加花粉的子囊孢子悬浮液(花粉浓度: $10^4/\text{mL}$)点接无伤离体油菜叶片和茎秆,浓度均为 $10^6/\text{mL}$,每点接种 $20\mu\text{L}$;以接种不含任何营养添加物的子囊孢子悬浮液为对照。接种后置 20℃、12h/12h 光暗交替培养箱内保湿培养,每个处理重复 3 次;4d 后统计发病率(%)并测量病斑长度。

1.6 不同接种体对油菜菌核病发生的影响

用不同接种体分别接种无伤油菜叶片和茎秆,处理共 3 个:(1) $20\mu\text{L}$ 浓度为 $10^6/\text{mL}$ 子囊孢子悬浮液点接;(2) 用浓度为 $10^6/\text{mL}$ 子囊孢子悬浮液均匀喷洒油菜花瓣,并剪取直径为 5mm 的花瓣置于油菜组织上;(3) 打取在 PDA 培养基上生长 3d、直径为 5mm 菌丝块接种。每处理重复 3 次。接种后放置在 20℃、12h/12h 光暗交替的培养箱中保湿培养,观察不同接种体接种后油菜叶片和茎秆的发病时间,并在 4d 后统计发病率(%)。

1.7 数据分析

采用 DPS(版本 3.01)软件对数据进行方差分析,并用 LSD 法比较不同处理间的差异显著性($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同温度对核盘菌子囊孢子萌发的影响

将核盘菌子囊孢子悬浮液涂布在水琼脂平板上培养,观察子囊孢子萌发率及芽管长度。结果表明(表 1),10~30℃ 条件下子囊孢子萌发和芽管伸长差异显著;不同温度条件和培养时间下子囊孢子萌发率均大于 80%;随着培养时间延长,孢子萌发率不断增加,但增加速度缓慢;在 24h 后,20~25℃ 条件下孢子萌发率最高,达 99.0%~99.7%;同样,芽管长度随培养时间延长而不断增长,且增长速度较快;20~25℃ 条件下萌发芽管最长,达 $610.8 \sim 637.0 \mu\text{m}$ 。由此可见,核盘菌子囊孢子在温度为 10~30℃ 条件下均可萌发,当温度为 20~25℃ 时最适宜孢子萌发及芽管生长。

表 1 不同温度条件下核盘菌子囊孢子的萌发情况
Table 1 Ascospore germination of *Sclerotinia sclerotiorum* at different temperatures

温度/℃ Temperature	孢子萌发率 Germination rate/%			芽管长度 Length of germinated tube/μm		
	6h	12h	24h	6h	12h	24h
10	82.3 ± 2.1b	86.0 ± 3.0b	92.0 ± 1.0c	19.6 ± 4.9b	49.0 ± 9.8d	88.2 ± 9.8c
15	85.0 ± 2.0b	89.7 ± 2.5b	94.7 ± 1.5b	26.1 ± 5.7b	75.1 ± 5.7c	209.1 ± 15.0b
20	92.7 ± 2.5a	96.7 ± 1.5a	99.7 ± 0.6a	53.9 ± 14.7a	160.1 ± 15.0a	610.8 ± 24.7a
25	94.7 ± 2.1a	96.0 ± 1.0a	99.0 ± 1.0a	65.3 ± 5.7a	127.4 ± 17.0b	637.0 ± 49.0a
30	83.0 ± 1.0b	86.3 ± 2.5b	88.7 ± 1.5d	26.1 ± 5.7b	45.7 ± 11.3d	117.6 ± 25.9c

注:表中数据为平均数 ± 标准差。同列数据后不同小写字母表示经 LSD 法检验差异显著($P < 0.05$)。下同
Note: Data (mean ± SD) in the same column followed by different lowercase letters were significantly different at $P < 0.05$ by LSD test. Same as below

2.2 不同温度对核盘菌子囊孢子侵染油菜的影响

用子囊孢子悬浮液接种无伤和刺伤油菜叶片,4d 后观察油菜叶片发病情况。结果表明(表 2),在 10℃ 条件下不利于子囊孢子侵染,无伤和针刺油菜叶片均不发病;15~30℃ 条件下油菜叶片均能发病,但不同温度对叶片发病率及病斑长度影响差异显

著,且刺伤叶片发病率明显高于无伤叶片。总体来说,在无伤和刺伤接种处理中,20~25℃ 温度条件下子囊孢子最易侵染油菜叶片,叶片发病率最高,无伤和刺伤接种发病率分别为 30.0%~32.7% 和 80.3%~85.7%;病斑长度也均最大,无伤和刺伤接种后病斑长度分别为 0.5~0.6cm 和 0.9cm。

表 2 不同温度条件对子囊孢子侵染油菜叶片的影响
Table 2 Effect of different temperatures on infection of rapeseed leaves inoculated by ascospore suspensions of *S. sclerotiorum*

温度/℃ Temperature	发病率 Disease incidence/%		病斑长度 Lesion length/cm	
	无伤叶片 Unwounded	刺伤叶片 Wounded	无伤叶片 Unwounded	刺伤叶片 Wounded
10	0e	0d	0e	0e
15	25.7 ± 4.0c	67.7 ± 7.5b	0.3 ± 0.06b	0.4 ± 0.1b
20	32.7 ± 2.5a	85.7 ± 4.0a	0.6 ± 0.2a	0.9 ± 0.4a
25	30.0 ± 6.0b	80.3 ± 7.5ab	0.5 ± 0.2a	0.9 ± 0.2a
30	12.0 ± 2.6d	47.3 ± 3.8c	0.3 ± 0.1b	0.3 ± 0.1bc

用子囊孢子悬浮液接种无伤和刺伤油菜茎秆,4d 后观察油菜茎秆发病情况。结果表明(表 3),在 10℃ 条件下不利于子囊孢子侵染,无伤和针刺油菜茎秆均不发病;15~25℃ 条件下不同处理油菜茎秆均能发病;30℃ 下仅刺伤茎秆可发病。总体来说,在无伤和刺伤接种处理中,20~25℃ 温度条件下子囊孢子最易侵染油菜茎秆,茎秆发病率最高,无伤和刺

伤接种发病率分别为 12.7%~17.7% 和 45.3%~49.3%;病斑长度均最大,分别为 0.5~0.6cm 和 0.6~0.8cm。

由此可见,在 20~25℃ 条件下最有利于核盘菌子囊孢子对油菜叶片和茎秆的侵染,且叶片发病率高于茎秆发病率。

表 3 不同温度条件对子囊孢子侵染油菜茎秆的影响
Table 3 Effect of different temperatures on infection of rapeseed stem inoculated by ascospore suspensions of *S. sclerotiorum*

温度/℃ Temperature	发病率 Disease incidence/%		病斑长度 Lesion length/cm	
	无伤茎秆 Unwounded	刺伤茎秆 Wounded	无伤茎秆 Unwounded	刺伤茎秆 Wounded
10	0c	0c	0c	0e
15	10.3 ± 2.5b	35.0 ± 2.0b	0.3 ± 0.1b	0.4 ± 0.1c
20	12.7 ± 2.5b	49.3 ± 5.1a	0.5 ± 0.2ab	0.8 ± 0.2a
25	17.7 ± 2.2a	45.3 ± 2.5a	0.6 ± 0.1a	0.6 ± 0.1b
30	0	32.7 ± 2.5b	0	0.2 ± 0.1d

2.3 不同浓度子囊孢子液对油菜侵染的影响

用不同浓度子囊孢子悬浮液分别接种油菜无伤、刺伤叶片和茎秆,4d 后观察发病情况。结果表明(表 4,表 5),随着子囊孢子液接种浓度的增大,油菜叶片和茎秆发病率以及病斑大小逐渐增加;其

中 10^6 个/mL 子囊孢子液接种最有利于油菜叶片和茎秆发病,无伤叶片和茎秆发病率分别为 32.7% 和 12.7%,刺伤叶片和茎秆发病率可达 85.7% 和 49.3%。不同浓度孢子液接种,油菜叶片相对茎秆更易感病。

表 4 不同浓度子囊孢子液对油菜叶片侵染的影响

孢子浓度/(/mL) Concentration	发病率 Disease incidence/%		病斑长度 Lesion length/cm	
	无伤叶片 Unwounded	刺伤叶片 Wounded	无伤叶片 Unwounded	刺伤叶片 Wounded
10 ³	2.3 ± 0.6c	5.5 ± 0.6d	0.2 ± 0.1c	0.5 ± 0.1b
10 ⁴	3.5 ± 0.2c	13.8 ± 0.8c	0.3 ± 0.1bc	0.5 ± 0.1b
10 ⁵	16.0 ± 1.0b	46.2 ± 0.7b	0.5 ± 0.1ab	0.6 ± 0.1b
10 ⁶	32.7 ± 2.5a	85.7 ± 4.0a	0.6 ± 0.2a	0.9 ± 0.4a

表 5 不同浓度子囊孢子液对油菜茎秆侵染的影响

孢子浓度/(/mL) Concentration	发病率 Disease incidence/%		病斑长度 Lesion length/cm	
	无伤茎秆 Unwounded	刺伤茎秆 Wounded	无伤茎秆 Unwounded	刺伤茎秆 Wounded
10 ³	0c	4.0 ± 0.3c	0c	0.2 ± 0.1c
10 ⁴	0c	5.2 ± 0.4c	0c	0.4 ± 0.1c
10 ⁵	4.2 ± 1.0b	12.4 ± 1.0b	0.3 ± 0.1b	0.4 ± 0.1b
10 ⁶	12.7 ± 2.5a	49.3 ± 0.1a	0.5 ± 0.2a	0.8 ± 0.2a

2.4 不同营养添加物对子囊孢子侵染油菜的影响

以接种不含添加物的子囊孢子液作对照,分别用含 2% 蔗糖、2% 葡萄糖以及花粉的子囊孢子液点接无伤油菜叶片和茎秆,4d 后观察发病情况。结果表明(表 6),在子囊孢子液中添加不同营养添加物

均有利于油菜叶片和茎秆发病。其中添加 2% 蔗糖或葡萄糖,接种发病最快,且叶片和茎秆发病率均为 100%;子囊孢子液添加花粉后发病率次之,叶片和茎秆发病率分别为 78.3% 和 61.7%。

表 6 不同营养添加物对子囊孢子侵染油菜的影响

Table 6 Effect of different nutritional supplements on infection of rapeseed inoculated by ascospore suspensions of *S. sclerotiorum*

营养添加物 Nutritional supplement	最初发病时间 Time of symptom observed/h		发病率 Disease incidence/%		病斑长度 Lesion length/cm	
	叶片 Leaf	茎秆 Stem	叶片 Leaf	茎秆 Stem	叶片 Leaf	茎秆 Stem
子囊孢子液 + 2% 蔗糖 Ascospore suspension + 2% sucrose	24	36	100a	100a	1.3 ± 0.3a	1.0 ± 0.3a
子囊孢子液 + 2% 葡萄糖 Ascospore suspension + 2% dextrose	24	36	100a	100a	1.4 ± 0.3a	1.0 ± 0.2a
子囊孢子液 + 花粉(100: 1) Ascospore suspension + pollen (100: 1)	48	48	78.3 ± 7.6b	61.7 ± 7.6b	1.1 ± 0.2ab	0.9 ± 0.3ab
子囊孢子液 Ascospore suspension	72	72	32.7 ± 2.1c	12.7 ± 2.5c	0.6 ± 0.2b	0.5 ± 0.2c

2.5 不同接种体对油菜菌核病发生的影响

分别用子囊孢子液、带菌花瓣以及菌丝块分别接种无伤油菜组织。结果表明(表 7),不同接种物接种油菜叶片和茎秆均能发病,但发病时间和发病

率有所差异。与子囊孢子液接种相比,用菌丝块和带菌花瓣接种叶片和茎秆发病率均为 100%,且叶片发病时间均有所提前。由此可见,菌丝以及带菌花瓣比子囊孢子更易于侵染油菜组织。

表 7 不同接种体对油菜菌核病发生的影响

Table 7 Effect of different inoculums on disease incidence of sclerotinia rot of rapeseed

接种体 Inoculum	最初发病时间 Time of initial symptom/h		发病率 Disease incidence/%	
	叶片 Leaf	茎秆 Stem	叶片 Leaf	茎秆 Stem
子囊孢子液 Ascospore suspension	72	72	32.7 ± 2.1c	12.7 ± 2.5c
带菌花瓣 Infected flower	48	72	100a	100a
菌丝块 Mycelial plug	12	24	100a	100a

3 讨论

田间带菌油菜花瓣在核盘菌侵染过程中起决定性的作用,是核盘菌侵染油菜叶片和茎部的主要传

染源,油菜开花高峰期是核盘菌子囊孢子侵染花瓣的最主要时期^[6]。在我国长江中下游地区,子囊盘往往从 2 月末开始出现,3 月份为子囊盘萌发高峰期,这一时期与油菜花期相吻合,子囊孢子通过花瓣

大量侵染油菜组织。核盘菌子囊孢子释放萌发高峰期与油菜花期是否相吻合及油菜花期的气温高低以及降雨量的多少等因素极大地影响油菜菌核病的发生严重度^[7]。近年来,我国冬季气温上升,菌核萌发产生子囊盘时间明显提前。我们前期调查发现,在湖北省宜昌、黄冈等地有的年份 11 月左右即可在田间观察到子囊盘,此时在田间苗期菌核病发生较为严重。前人已有研究报道,子囊孢子有时可直接侵染大豆、菜豆等寄主植物叶片^[8~10],说明子囊孢子可在田间直接侵染除花瓣以外的寄主植物其他组织。本研究中核盘菌子囊孢子在 10~30℃ 条件下萌发率均在 80% 以上,且在 15~30℃ 可侵染油菜叶片和茎秆,受温度影响较小;而在田间子囊盘产生时期正好也处于该温度范围之内,为子囊孢子在田间直接侵染油菜组织提供了适宜的温度条件。

根据前期的花期花朵带菌率检测试验可发现,子囊孢子从初花期至末花期均有较高的带菌率(未发表资料);同时,从本研究接种结果可看出,油菜叶片相对于茎秆更利于子囊孢子侵染,菌丝块以及带菌花瓣接种比子囊孢子更易侵染油菜组织,这与在自然条件下油菜茎秆发病的主要传染源为带菌花瓣及叶片相一致。但某些年份在适宜的气候条件下,油菜茎秆大面积严重发生,菌核病也可能与子囊孢子的直接侵染有关。因此,子囊孢子直接侵染仍可能是核盘菌侵染的次要模式,后期还需通过田间子囊孢子接种试验进一步证实。

用子囊孢子液接种刺伤的油菜组织时发病率和病斑大小均显著高于未刺伤的组织,推断田间管理或冻伤可能是影响子囊孢子田间直接侵染的影响因素之一^[11]。Bolton 等^[2]报道子囊孢子可在健康组织上萌发但在无外源营养物的情况下不能直接侵染。本研究在子囊孢子液添加外源营养物,可加速油菜组织发病。外源营养物质可使子囊孢子快速萌发、生长形成大量菌丝,而菌丝更易于侵染油菜组织;这与 Garg 等^[12]的研究结果一致,即适宜的营养物质有利于子囊孢子萌发及菌丝大量生长、聚集和膨大。另外,本研究未添加外源营养物的子囊孢子悬浮液也可直接引起油菜叶片和茎秆发病,其原因可能主要是接种用的子囊孢子悬浮液中含有研磨子囊盘后的残留物质,为子囊孢子萌发和侵染提供营养。

本研究探讨了核盘菌子囊孢子在不同条件下侵染油菜的基本特性,明确了子囊孢子侵染率与温度、植株伤口有无、不同组织之间的关系,有利于全面认识油菜菌核病的病害循环,为病害的监测和防控提供理论依据。

参考文献:

- [1] Boland G J, Hall R. An index of plant hosts susceptible to *Sclerotinia sclerotiorum* [J]. Canadian Journal of Plant Pathology, 1994, 16: 93–108.
- [2] Bolton M D, Thomma B P, Nelson B D. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen [J]. Molecular Plant Pathology, 2006, 7(1): 1–16.
- [3] McQuilken M P, Mitchell S J, Archer S A. Origin of early attacks of *Sclerotinia* stem rot on winter oilseed rape (*Brassica napus* sub. sp. *oleifera* var. *biensis*) in the UK [J]. Journal of Phytopathology, 1994, 140(3): 179–186.
- [4] 王汉中, 刘贵华, 郑元本, 等. 抗菌核病双低油菜新品种中双 9 号的选育 [J]. 中国油料作物学报, 2002, 24(4): 71–73.
- [5] Garg H, Sivasithamparam K, Barbetti M J. Scarification and environmental factors that enhance carpogenic germination of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* [J]. Plant Disease, 2010, 94: 1 041–1 047.
- [6] Twengström E, Sigvald R, Svensson C, et al. Forecasting *Sclerotinia* stem rot in spring sown oilseed rape [J]. Crop Protection, 1998, 17(5): 405–411.
- [7] 冯兰萍, 张谷丰, 张夕林. 油菜菌核病发生规律、影响因子和油菜损失率测定 [J]. 植物保护, 1999, 225(1): 24–26.
- [8] Boland G J, Hall R. Epidemiology of white mold of white bean in Ontario [J]. Canadian Journal of Plant Pathology, 1987, 9: 218–224.
- [9] Boland G J, Hall R. Relationships between the spatial pattern and number of apothecia of *Sclerotinia sclerotiorum* and stem rot of soybean [J]. Plant Pathology, 1988, 37: 329–336.
- [10] Clarkson J P, Fawcett L, Anthony S G, et al. A model for *Sclerotinia sclerotiorum* infection and disease development in lettuce, based on the effects of temperature, relative humidity and ascospore density [J]. PLoS ONE, 2014, 9(4): e94049.
- [11] Hudyncia J, Shew H D, Cody B R, et al. Evaluation of wounds as a factor to infection of cabbage by ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum* [J]. Plant Disease, 2000, 84: 316–320.
- [12] Garg H, Li H, Sivasithamparam K, et al. The infection processes of *Sclerotinia sclerotiorum* in cotyledon tissue of a resistant and a susceptible genotype of *Brassica napus* [J]. Annals of Botany, 2010, 106(6): 897–908.